

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(A) OR (B)



REC'D 15 JAN 2004

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 56 106.0

Anmeldetag: 29. November 2002

Anmelder/Inhaber: AUDI AG, Ingolstadt/DE

Bezeichnung: Vorrichtung und Verfahren zum Schätzen eines
Motordrehmoments

IPC: G 01 L 3/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. November 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Stark

BEST AVAILABLE COPY

5 Vorrichtung und Verfahren zum Schätzen eines Motordrehmoments

BESCHREIBUNG:

- 10 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines Drehmoments eines Verbrennungsmotors. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung eine entsprechende Vorrichtung zur Bestimmung des Drehmoments.
- 15 Bei Kraftfahrzeugen ist das Motormoment eine zentrale Größe in dem Antriebsmanagement. Eine Sensorik zur Erfassung des Motormoments ist aus Kostengründen in Serienfahrzeugen nicht verbaut. Die Motorsteuerung hat somit keine Rückmeldung über das tatsächliche vom Motor erzeugte Moment. Die Kenntnis des Motormoments würde allerdings eine Reihe von Vorteilen bieten: Beispielsweise wäre eine Drehmomentregelung realisierbar, mit der Störgrößen sehr einfach kompensiert werden könnten. Aufwändige Steuerungsfunktionen im Motormanagement ließen sich durch einen einfachen Regelalgorithmus ersetzen.
- 25 Ein Verfahren zur Ermittlung von Drehmomenten, Arbeiten und Leistungen an Verbrennungskraftmaschinen ist aus der deutschen Patentschrift DE 44 45 684 C2 bekannt. Dabei wird unter Berücksichtigung des Trägheitsmoments der rotierenden Massen und unter Kompensation von Drehmomenten oszillierender Massen das resultierende Drehmoment mit Hilfe eines motortypischen Kennfelds berechnet. Dieses Kennfeld wird durch Versuche bei verschiedenen Drehzahlen und Laststufen bestimmt. Mit Hilfe dieses so bestimmten Kennfelds können dann aufgrund von Winkelgeschwindigkeitsmessungen das effektive Drehmoment berechnet und nach weiterer Verarbeitung der Gasdrehmomentverlauf über dem Kurbelwinkel angegeben werden.
- 30

35

Die Bestimmung des Drehmoments wird durch verschiedene motor- und betriebspunktabhängige Einflussgrößen erschwert. Diese Einflussgrößen müssen erkannt und in geeigneter Form berücksichtigt und kompensiert werden.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, wesentliche Einflussgrößen bei der Ermittlung eines Motordrehmoments zu berücksichtigen.

- 5 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung eines Drehmoments eines Verbrennungsmotors durch Erfassen einer ersten Messgröße bezüglich einer Winkelgeschwindigkeit des Verbrennungsmotors, Erfassen einer zweiten Messgröße bezüglich eines Ladedrucks des Verbrennungsmotors oder Simulieren einer Ladedruckgröße in
10 Abhängigkeit von der ersten Messgröße und Ermitteln des Drehmoments aus der ersten Messgröße und der zweiten Messgröße oder aus der ersten Messgröße und der simulierten Ladedruckgröße.

- 15 Darüber hinaus wird die oben genannte Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Drehmoments eines Verbrennungsmotors, mit einer ersten Sensoreinrichtung zum Erfassen einer ersten Messgröße bezüglich einer Winkelgeschwindigkeit des Verbrennungsmotors, einer zweiten Sensoreinrichtung zum Erfassen einer zweiten Messgröße bezüglich eines Ladedrucks des Verbrennungsmotors oder einer Simulations-
20 einrichtung zum Simulieren einer Ladedruckgröße in Abhängigkeit von der ersten Messgröße und einer Datenverarbeitungseinrichtung, die an die erste und zweite Sensoreinrichtung oder an die erste Sensoreinrichtung und die Simulationseinrichtung angeschlossen ist, zum Ermitteln des Drehmoments aus der ersten Messgröße und der zweiten Messgröße oder aus der ersten
25 Messgröße und der simulierten Ladedruckgröße.

- 30 Damit erfolgt die Drehmomentenschätzung auch bei aufgeladenen Motoren zuverlässig. Eine Aufladung führt aufgrund der höheren Zylinderfüllung zu einer höheren Gaswechselmoment-Amplitude. Besonders transiente Vorgänge bei geregelten Turboladern können hierbei zu Problemen führen. In diesen Fällen herrscht im Betrieb nicht immer derselbe Ladedruck wie bei einem unter stationären Bedingungen aufgenommenen Kennfeldpunkt der entsprechenden Drehzahl-Last-Kombination. Durch den unterschiedlichen Ladedruck wird in diesem Fall ein unterschiedliches Wechseldrehmoment
35 bestimmt, und damit ein falscher Lastpunkt im Kennfeld. Damit ist es für die Bestimmung des Lastmoments notwendig, das entsprechende Kennfeld sowie das geschätzte Wechseldrehmoment als Eingangsgröße vom Ladedruck unabhängig zu machen. Dazu muss der Wechseldrehmomentverlauf von seinem ladedruckabhängigen Kompressionsanteil befreit werden. Zur Schät-

zung des Kompressionsanteils kann die Information aus dem in der Regel vorhandenen Ladedrucksensor verwendet werden. Wird der Ladedruck in seinem wesentlichen Verlauf in Abhängigkeit von der Winkelgeschwindigkeit durch ein geeignetes Modell simuliert, so kann auch diese simulierte Ladedruckgröße zur Berechnung eines Drehmoments beziehungsweise zur Kompensation eines Ladedrucks verwendet werden.

Durch die Kompensation des Ladedrucks wird auch die Abhängigkeit vom Atmosphärendruck beseitigt. Diese könnte andernfalls zum Beispiel im Höhenbetrieb zu Abweichungen der Schätzung des Drehmoments führen.

Die Drehzahl beziehungsweise Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors beziehungsweise der Verbrennungskraftmaschine wird vorzugsweise durch ein Geberrad erfasst. Ein Geberrad, das Markierungen oder Segmente aufweist, ist hierfür drehfest auf der Kurbelwelle angeordnet. Ein feststehender Sensor tastet das Geberrad berührungslos ab. Dies stellt eine verhältnismäßig robuste Messmethode dar.

Fertigungstoleranzen des Geberrads sowie Fehler beim Anbau an die Kurbelwelle führen zu systematischen Geberradfehlern, die bei der Ermittlung des Drehmoments kompensiert werden sollten. Weiterhin sollte bei der Ermittlung des Drehmoments die gemessene Winkelgeschwindigkeit von Störsignalen befreit werden. Dies erfolgt vorzugsweise durch eine digitale Filterung.

Vorteilhafterweise werden zur Ermittlung des Drehmoments auch die Massenkräfte, die bei der Drehung des Verbrennungsmotors durch dessen Komponenten entstehen, kompensiert. Dadurch kann ein Energieumsatz unabhängig von den oszillierenden Massen des Motors ermittelt werden.

Um schließlich eine im Wesentlichen vom Motor unabhängige Ausgangsgröße zu erhalten, kann das Drehmoment hinsichtlich des Hubraums des Verbrennungsmotors mittels eines Kennfelds normiert werden. Hierdurch kann eine gemittelte Druckgröße gewonnen werden, mit deren Hilfe der Energieumsatz von Motoren unterschiedlichen Hubraums verglichen werden kann.

In vorteilhafter Weise lässt sich das ermittelte Wechseldrehmoment für das Sicherheitskonzept von Kraftfahrzeugen verwenden.

Die vorliegende Erfindung wird nun anhand der beigefügten Zeichnung näher erläutert, die ein Blockschaltbild zu dem erfindungsgemäßen Verfahren darstellt.

- 5 Das nachfolgend beschriebene Ausführungsbeispiel stellt lediglich eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar.

10 In der Abbildung ist schematisch dargestellt, wie aus einer Winkelgeschwindigkeit ω der Kurbelwelle auf den mittleren indizierten Druck geschlossen und somit der Energieumsatz in einer Brennkraftmaschine beurteilt werden kann. In einem Block 1 erfolgt zur Ermittlung einer Winkelgeschwindigkeit eine Periodendauermessung. Speziell wird aus einer Zeitdauer für einem bestimmten Differenzwinkel auf das Rohsignal einer Winkelgeschwindigkeit geschlossen.

15 Das Rohsignal der Winkelgeschwindigkeit wird in Block 2 einer Geberradkompensation unterzogen. Eine hochgenaue Bestimmung der Kurbelwellengeschwindigkeit ist Voraussetzung für eine einwandfreie Funktion der Drehmomentenschätzung. Die bei der Winkelgeschwindigkeitsmessung verwendeten Geberräder weisen durch Fertigungstoleranzen jedoch teilweise erheblich Fehler wie unzentrische Lagerung und/oder Zahnteilungsfehler auf. Solche Abweichungen führen zu nicht tolerablen Fehlern bei der Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit und folglich auch des daraus bestimmten Wechseldrehmoments.

25 Zur Geberradkompensation sind zwei geeignete Kompensationsverfahren bekannt. Das erste, aus der deutschen Patentanmeldung mit der Anmeldenummer 102 17 560.8 bekannte Verfahren zur Geberradadaption nutzt die Gegenphasigkeit der Gas- und Massenmomente zur Bestimmung der Geometriefehler des verwendeten Drehgeberrads. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in seiner einfachen Handhabung und darin, dass außer der Zylinder- und Zähneanzahl kein weiteres a-priori-Wissen über den zu betrachtenden Motor notwendig ist. Das zweite, in der Offenlegungsschrift DE 101 07 892 A1 beschriebene Verfahren wählt einen Ansatz über die Modellierung der Kurbelwellenenergie zur Bestimmung des Geberradfehlers. Durch die Geberradadaption kann der durch das Geberrad verursachte Fehler um mindestens eine Größenordnung reduziert werden. Auf beide Dokumente wird hiermit ausdrücklich Bezug genommen.

30

35

Der Geberradfehler muss, wie dies in der Abbildung durch einen Eingangspfeil in dem Block 2 symbolisch angedeutet ist, für jeden Motor vorher nur einmal eingelernt und dann abgelegt werden. Ausgangssignal des Blocks 2 ist somit eine geberradfehlerkompensierte Winkelgeschwindigkeit.

5

Die korrigierte Winkelgeschwindigkeit ist stark störungsbehaftet. Sie besitzt ein geringes Signal-Rausch-Verhältnis. Um dies zu verbessern wird im Wesentlichen eine Bandbegrenzung in dem Block 3 durch digitale Filterung vorgenommen. Es resultiert daraus ein gefiltertes Winkelgeschwindigkeitssignal ω mit einem verbesserten Signal-Rausch-Verhältnis. Darüber hinaus wird in dem Block 3 durch Differentiation aus dem gefilterten Winkelgeschwindigkeitssignal eine Winkelbeschleunigung α berechnet.

10

15

Eine anschließend im Block 4 durchgeführte Massenkraftkompensation bewirkt, dass der Momenteneinfluss durch die Trägheitsmomente und oszillierenden Massen kompensiert und so das reine Gaswechseldrehmoment ermittelt wird. Die von Massenkräften herrührenden, auf die Kurbelwelle einwirkenden Momente wirken sich in einer ungleichmäßigen Winkelgeschwindigkeit aus und sind daher zu kompensieren. Derartige Massenmomente setzen sich, wie erwähnt, aus der Massenträgheit der rotierenden Teile und der oszillierenden Kolben und Pleuel zusammen. Als Ausgangssignal erhält man ein ladedruckabhängiges Moment $\tilde{M}_{kv}(\varphi)$.

20

25

In Block 5 werden Ladedruckänderungen kompensiert. Zur Schätzung des Kompensationsanteils kann die Information P_{laded} aus dem Ladedrucksensor verwendet werden. Die Abhängigkeit des Wechseldrehmoments vom Ladedruck wird durch eine Kennlinie, die vorab aufgenommen wurde, abgebildet. Hierzu werden Ladedruckvariationsmessungen oder Auslaufmessungen durchgeführt. Diese Messungen führen zu einer näherungsweise linearen Kennlinie im Wesentlichen ohne Drehzahlabhängigkeit. Durch diese entsprechend der ermittelten Ladedruckkennlinie durchgeführten Ladedruckkompensation wird das ermittelte Wechseldrehmoment von seinem durch den Ladedruck bedingten Anteil befreit und man erhält ein entsprechendes Moment $\tilde{M}_v(\varphi)$. Hierdurch kann das Verfahren auch für aufgeladene Motoren verwendet werden.

30

35

Ziel des Drehmomentmessverfahrens ist die Bestimmung des indizierten Mitteldrucks P_{mi} oder des effektiven Mitteldrucks und des Lastmoments. Die Schätzung der gewünschten Größe aus der gemessenen Eingangsgröße

Drehzahl bzw. -winkel und dem Wechseldrehmoment erfolgt über ein vorher für jeden Motortyp eingelerntes Kennfeld, das mit Block 6 in der Abbildung symbolisiert ist. In diesem Kennfeld 6 wird der Zusammenhang zwischen Wechseldrehmoment $\tilde{M}_v(\varphi)$, Drehzahl ω und indiziertem Mitteldruck P_{mi} beschrieben.

Bei der Überprüfung der Genauigkeit der Wechseldrehmomentschätzung aus dem Ladedruck und der Winkelgeschwindigkeit ergeben sich Abweichungen von einer gemessenen Referenz im einstelligen Prozentbereich.

Auch die Abweichungen bei der Schätzung von mittleren indizierten Drücken P_{mi} , die anhand von dynamischen Messungen ermittelt wurden, liegen im einstelligen Prozentbereich. Derart genaue Schätzwerte lassen sich sinnvoll für das Motor- und Getriebemanagement einsetzen.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Bestimmung eines Drehmoments eines Verbrennungsmotors durch

5

Erfassen (1) einer ersten Messgröße bezüglich einer Winkelgeschwindigkeit des Verbrennungsmotors,

gekennzeichnet durch

10

Erfassen einer zweiten Messgröße bezüglich eines Ladedrucks des Verbrennungsmotors oder Simulieren einer Ladedruckgröße in Abhängigkeit von der ersten Messgröße und

15

Ermitteln des Drehmoments aus der ersten Messgröße und der zweiten Messgröße oder aus der ersten Messgröße und der simulierten Ladedruckgröße.

20

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei als erste Messgröße eine Winkelgeschwindigkeit über ein Geberrad erfasst wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei bei der Ermittlung des Drehmoments ein Geberradfehler kompensiert wird (2).

25

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei bei der Ermittlung des Drehmoments die erste Messgröße bezüglich der Drehzahl zur Reduktion von Störungen gefiltert wird (3).

30

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei bei der Ermittlung des Drehmoments Massenkräfte, die bei der Drehung des Verbrennungsmotors durch dessen Komponenten entstehen, kompensiert werden (4).

35

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei bei der Ermittlung des Drehmoments der Ladedruck über eine Kennlinie (5) berücksichtigt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Kennlinie linear ist und insbesondere über Ladedruckvariationsmessungen oder Auslaufmessungen gewonnen wird.

- 5 8. Vorrichtung zur Bestimmung eines Drehmoments eines Verbrennungsmotors, mit

einer ersten Sensoreinrichtung zum Erfassen (1) einer ersten Messgröße bezüglich einer Winkelgeschwindigkeit des Verbrennungsmotors,

10

gekennzeichnet durch

eine zweite Sensoreinrichtung, Erfassen einer zweiten Messgröße bezüglich eines Ladedrucks des Verbrennungsmotors oder eine Simulationseinrichtung zum Simulieren einer Ladedruckgröße in Abhängigkeit von der ersten Messgröße und

15

eine Datenverarbeitungseinrichtung, die an die erste und zweite Sensoreinrichtung oder an die erste Sensoreinrichtung und die Simulationseinrichtung angeschlossen ist, zum Ermitteln des Drehmoments aus der ersten Messgröße und der zweiten Messgröße oder aus der ersten Messgröße und der simulierten Ladedruckgröße.

20

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei die erste Sensoreinrichtung ein Geberrad besitzt, mit dem eine Winkelgeschwindigkeit als erste Messgröße erfassbar ist.

25

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, wobei die Datenverarbeitungseinrichtung eine Kompensationseinrichtung zum Kompensieren (2) eines Geberradfehlers umfasst.

30

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei die Datenverarbeitungseinrichtung eine Filtereinheit zum Filtern (3) der ersten Messgröße bezüglich der Drehzahl zur Reduktion von Störungen umfasst.

35

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei die Datenverarbeitungseinrichtung eine Kompensationseinheit zur Kompensation (4) von Massenkräften, die bei der Drehung des Verbrennungsmotors durch dessen oszillierenden Komponenten entstehen, umfasst.

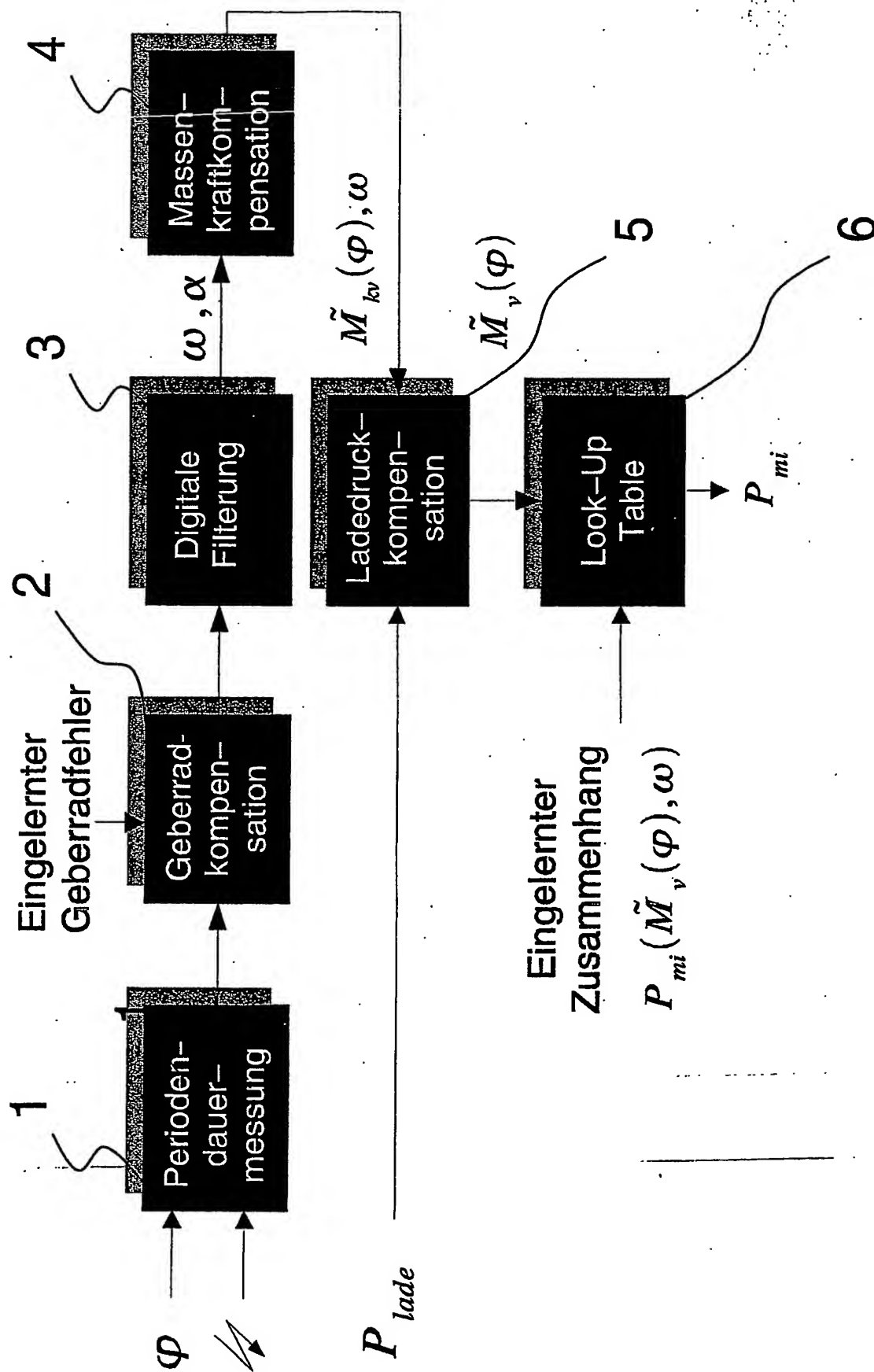
40

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, wobei der Ladedruck in der Datenverarbeitungseinrichtung über eine Kennlinie (5) berücksichtigbar ist.

5

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, wobei die Kennlinie linear und insbesondere über Ladedruckvariationsmessungen oder Auslaufmessungen gewonnen ist.

10



Vorrichtung und Verfahren zum Schätzen eines Motordrehmoments

5

ZUSAMMENFASSUNG:

10

Aus der Drehzahl soll beispielsweise für das Motormanagement das Wechseldrehmoment $\tilde{M}_{kv}(\varphi)$ beziehungsweise der mittlere indizierte Druck P_{mi} aus der Winkelgeschwindigkeit ω ermittelt werden. Um ein verwertbares Resultat zu erhalten, muss eine Ladedruckkompensation (5) durchgeführt werden. Vorzugsweise erfolgt ebenfalls eine Geberradfehlerkompensation (2) und eine Massenkraftkompensation (4). Aus einem Kennfeld (6) erhält man aus dem Wechseldrehmoment $\tilde{M}_v(\varphi)$ den mittleren indizierten Druck P_{mi} .

15

